

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 807 959

②① N° d'enregistrement national : 00 05169

⑤① Int Cl⁷ : B 25 J 9/06, B 25 J 9/10, 17/02, B 62 D 57/02

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 21.04.00.

③⑦ Priorité :

⑦① Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS Etablissement
public à caractère scientifique et technologique — FR.

⑦② Inventeur(s) : SARDAIN PHILIPPE.

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 26.10.01 Bulletin 01/43.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

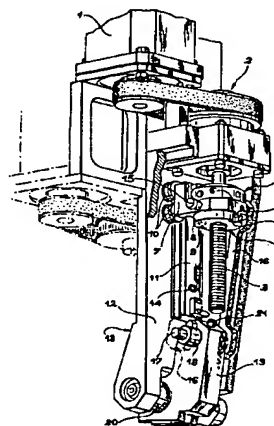
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ ACTIONNEUR CONCU POUR DES STRUCTURES ARTICULEES, TELLES QUE DES MEMBRES DE ROBOT
MARCHEUR.

⑤⑦ L'actionneur est une combinaison d'un système vis-écrou (3, 4) et d'un système bielle-manivelle (16, 19), complétée par des dispositions pour remédier aux défauts de montage des pièces et empêcher le développement de contraintes internes: un rail (11) sur lequel coulisse un chariot (7) accompagnant l'écrou est mobile latéralement, et le chariot est mobile sur l'écrou dans l'autre direction transversale; et l'axe d'articulation (17) des biellettes (16) à la manivelle (19) peut tourner autour d'un pivot (21).

Cet actionneur léger convient particulièrement à des jambes de robot bipède.



FR 2 807 959 - A1



**ACTIONNEUR CONÇU POUR DES STRUCTURES ARTICULÉES, TELLES
QUE DES MEMBRES DE ROBOT MARCHEUR**

DESCRIPTION

Le sujet de cette invention est d'abord un
5 système actionneur conçu pour des structures
articulées, puis des structures articulées, comme des
membres de robots marcheurs, équipées de ces
actionneurs.

Les robots mobiles peuvent être répartis en
10 familles d'aspect très différent. Parmi celles qui
méritent plus particulièrement l'attention, on doit
mentionner les robots humanoïdes qui sont conçus pour
se déplacer en marchant, car ils conviennent bien pour
se déplacer sur le sol naturel ou dans des bâtiments
15 usuels comprenant des obstacles tels que des escaliers,
des dénivellations brusques ou des passages étroits et
sinueux. Le développement de ces robots marcheurs se
heurte toutefois à des difficultés provenant de la
complexité mécanique de la jambe humaine et de la
20 commande de la démarche. Les jambes de l'homme
présentent en effet des articulations assez nombreuses
pour lui permettre de se déplacer sur des terrains
irréguliers ou inégaux sans perdre l'équilibre, ce qui
impose une coordination des mouvements, assez longue à
25 acquérir, pour maintenir un équilibre dynamique. Le
problème du maintien de l'équilibre est encore
compliqué si le robot doit porter une charge lourde à
une portion supérieure, située à l'équivalent du tronc
ou de la cage thoracique de l'homme. Un brevet

décrivant un robot bipède typique est le brevet américain 5 159 988, où les jambes artificielles sont composés de segments et d'articulations les joignant, et particulièrement d'un pied, d'une cheville à cardan, d'une jambe (proprement dite), d'un genou à articulation simple, d'une cuisse et d'une hanche à cardan, qui est reliée à un tronc, ou corps principal, du robot. Si on examine plus particulièrement le contenu de ce document, on voit que les articulations de cheville, de genou et de hanche sont particulièrement volumineuses, notamment aux articulations doubles équipées d'un cardan. La commande de chaque axe des articulations est faite par un moteur équipé d'un réducteur qui fait tourner cet axe. Dans le cas d'un cardan, un des moteurs est situé devant un des axes du cardan et l'entraîne directement, alors que l'autre moteur est situé sur le segment adjacent de la jambe et entraîne l'autre axe par l'intermédiaire d'une courroie. Ces systèmes d'entraînement demandent des couples importants et des moteurs de puissance conséquente et donc volumineux. Le moteur placé à côté du cardan rend l'articulation particulièrement encombrante. Enfin, la disposition dissymétrique des moteurs est peu harmonieuse.

Un objet de l'invention est de proposer un actionneur simple, commode et léger, convenant pour équiper des articulations situées entre deux éléments de structure tels que les segments d'un robot bipède ou d'un engin du même genre, alors même que des efforts importants sont à fournir.

Un autre objet de l'invention est de fournir un actionneur universel, c'est-à-dire qui convienne pour toutes les articulations de la jambe d'un robot mobile et qui soit toujours sensiblement
5 placé de la même façon par rapport à l'articulation. Les actionneurs de la jambe sont de préférence identiques par leur constitution, nonobstant des variations éventuelles de dimensions.

L'actionneur est caractérisé d'abord par
10 une combinaison d'un système à vis et écrou et d'un système à bielle et manivelle ; le moteur fait tourner la vis et la manivelle fait tourner l'axe d'articulation. Ces deux mécanismes sont connus séparément depuis très longtemps pour effectuer des
15 conversions de mouvements, et le mécanisme à vis et écrou a déjà retenu l'attention en robotique en raison de sa grande réduction de vitesse, de sa précision et de sa résistance nominale aux efforts ; et la manivelle forme un moyen robuste et commode de convertir les
20 poussées des bielles en rotations de l'articulation. Mais la vis comme les bielles sont des pièces peu rigides et aptes à se déformer facilement par flambage ; et les incertitudes de dimensions et de position de montage des pièces de ces mécanismes font
25 apparaître des jeux ou des précontraintes, des excentrement, des porte-à-faux, etc. qui engendrent des contraintes supplémentaires considérables en service. Ces facteurs défavorables conduisent les fabricants de systèmes de transmission à vis et écrou à
30 admettre que leurs produits ne résistent, dans des conditions réelles d'utilisation, qu'à une fraction de

leur résistance nominale, obtenue par calcul ou mesurée dans des bonnes conditions d'essai. Tout cela explique pourquoi de tels mécanismes n'ont pas connu le succès auquel on aurait pu s'attendre et que les actionneurs volumineux du brevet 5 159 988 n'ont pas véritablement été supplantés.

La combinaison des mécanismes à vis et écrou et à bielle et manivelle est faite, d'après l'invention, en les montant sur les éléments de structure reliés par l'articulation de façon que les défauts de montage se corrigent d'eux-mêmes, ce qui fait disparaître les efforts supplémentaires imprévisibles et surtout les efforts dissymétriques responsables du flambement. Les pièces de l'actionneur ne sont guère soumises qu'aux efforts prévus par calcul pour commander les mouvements d'articulation et peuvent donc être prévues assez fines.

Ces avantages ne dépendent pas des structures articulées reliées par l'actionneur, et c'est pourquoi l'invention est relative d'abord à un actionneur en tant que tel. Toutefois, il est certain que cet actionneur sera particulièrement avantageux sur les membres de robot et particulièrement les jambes de robots marcheurs, qui seront simplifiées, allégées et auront un aspect plus agréable. L'application de l'actionneur à ces robots est donc un autre sujet de l'invention.

De façon plus explicite, l'actionneur, agissant sur une articulation entre un premier élément de structure et un second élément de structure, comprend un moteur fixé au premier élément, une vis que

le moteur fait tourner, un écrou engagé sur la vis, et il est original en ce qu'il comprend un chariot assujetti à l'écrou en direction de la vis, une glissière sensiblement parallèle à la vis, fixée au premier élément et sur laquelle le chariot est monté, 5 une paire de biellettes parallèles, s'étendant symétriquement à la vis et articulées au chariot par une extrémité et à un axe de basculement de l'articulation assujetti au second élément par l'autre 10 extrémité, l'axe de basculement étant sensiblement perpendiculaire à la vis, le chariot étant assujetti à l'écrou avec une liberté de translation perpendiculairement à la vis et l'axe étant assujetti à l'articulation avec une liberté de rotation.

15 Sous une forme particulière de l'actionneur, la glissière est fixée au premier élément par une liaison permettant un réglage de position de la glissière sur le premier élément ; notamment, il est préconisé que la glissière soit plate et portée sur une 20 surface plate du premier élément, la liaison comprenne une paire de vis de fixation à tête plate engagées dans des trous taraudés du premier élément à travers des encoches de la glissière dans lesquelles elles jouent, et le chariot soit assujetti à l'écrou avec une liberté 25 de translation perpendiculairement à la surface plate. Par ailleurs, on conseille que l'axe soit assujetti à l'articulation par un pivot autour duquel l'axe est articulé.

30 Les divers aspects d'une réalisation particulière de l'invention et de certaines de ses

applications préférées seront maintenant décrits, au moyen des figures que voici :

- la figure 1 est une vue générale d'un actionneur,
- les figures 2 et 3 représentent deux détails de
5 l'actionneur,
- la figure 4 est une vue d'un actionneur double,
- la figure 5 illustre un robot équipé des actionneurs précédents,
- et les figures 6 et 7 représentent deux portions de
10 ce robot.

Sur les figures 1 à 3 est représenté un actionneur simple conforme à l'invention. Il est entraîné par un moteur 1 qui meut en rotation, au-delà d'une transmission 2, une vis sans fin 3 sur laquelle
15 un écrou 4 est engagé. Une bague 5 est solidaire de l'écrou 4, et ils retiennent entre eux un arceau 6 uni à un chariot 7 ; l'arceau 6 est muni de deux ergots 8 qui pénètrent dans deux rainures 9, opérées à travers deux portions opposées de la périphérie de l'écrou 4 en
20 direction de la vis 3. Le chariot 7 porte deux paires de galets 10 qui permettent de le guider sur un rail 11 posé sur une surface plate 12 d'un segment 13 de structure (ici, un membre artificiel de robot) formé pour la plus grande partie d'une plaque plane ; le rail
25 11 faisant office de glissière est fixé au segment 13 par une paire de vis à tête plate 14 engagées dans des taraudages du segment 13 et jouant dans des encoches 15 du rail 11, à travers lesquelles elles sont engagées.

L'arceau 6 comprend encore deux manetons 15
30 latéraux opposés et en prolongement auxquels sont articulées deux biellettes 16 (une seule étant

représentée à la figure 1) dont la direction d'extension est voisine de celle de la vis sans fin 3 et du rail 11 ; les extrémités des biellettes 16 qui sont opposées aux manetons 15 sont articulées aux deux
5 bouts d'un axe 17 engagé à travers un trou oblong 18 d'un second segment 19 de la structure, retenu au premier segment 13 par une articulation 20. De plus, un pivot 21 est engagé dans le second segment 19 et traverse le trou oblong 18 ainsi que l'axe 17 en lui
10 permettant de pivoter dans le trou oblong 18. Le second segment 19 est de forme coudée entre l'axe 17 et l'articulation 20 et constitue là une manivelle.

Quand le moteur 1 tourne, la rotation de la vis 3 élève ou abaisse l'écrou 4 et concomitamment le
15 chariot 7, ce qui déplace encore les biellettes 16 et fait tourner le second segment 19 par rapport au premier 13. Le fonctionnement convenable de l'actionneur, sans hyperstaticité et donc sans contraintes internes superflues, est toutefois garanti
20 par d'autres moyens précédemment décrits. Le rail 11 est ainsi mobile en direction latérale si les vis à tête plate 14 sont desserrées. Au cours d'un réglage préliminaire, on fait parcourir une grande partie de sa course totale au chariot 7, de manière que les galets
25 10 orientent le rail 11 parallèlement à la vis sans fin 3, après quoi les vis à tête plate 14 sont serrées, et l'actionneur devient apte à assurer sa fonction sans qu'on craigne que des contraintes ne soient produites dans l'écrou 4 ou le chariot 7 à cause d'un décalage
30 latéral entre la vis sans fin 3 et le rail 11. Le mouvement correcteur d'orientation du rail 11 est

possible puisqu'il est posé sur la surface plate ~~12~~ du premier segment 13 et que les vis à tête plate 14 n'exercent pas de centrage et peuvent donc être serrées sur tout endroit du rail 11, dont la face apparente est aussi plate.

Un autre mouvement correcteur est offert par la liaison particulière entre l'écrou 4 et l'arceau 6 : les ergots 8, n'entrant pas jusqu'au fond des rainures 9, permettent à l'arceau 6 de se déplacer par rapport à l'écrou 4 si la vis sans fin 3 est orientée obliquement, en s'approchant ou s'éloignant de la surface plate 12 du segment 13. Enfin, le pivotement libre de l'axe 17 autour du pivot 21, oblique à la vis sans fin 3, permet de corriger une inclinaison éventuelle du chariot 7 et de ses manetons 15, ou une différence de longueur des biellettes 16.

Ces trois raffinements permettent d'éliminer respectivement les efforts internes latéraux, frontaux et axiaux tout en éliminant les différences de changement des biellettes 16. La précision du guidage est cependant maintenue puisque le jeu dans l'actionneur en direction de la vis 3 est très faible ; en particulier, l'arceau 6 est retenu sans jeu entre la bague 5 et l'écrou 4. L'actionneur est alors parfaitement isostatique, si bien qu'aucun effort interne provenant d'erreurs ou d'imprécisions de montage n'y est développé et qu'il peut être construit plus légèrement pour un effort nominal égal à transmettre.

D'autres systèmes existent pour garantir l'isostaticité de la transmission, notamment si

l'arceau 6 est mobile par rapport à l'écrou dans les directions latérale et frontale à la fois.

La figure 4 montre l'emploi combiné d'une
5 paire de ces actionneurs (31 et 32) entre deux éléments
de structure doublement articulés, comme un pied 30 de
robot et une plaque 33 de structure de jambe qu'un
cardan 57 relie entre eux. Les actionneurs sont montés
derrière la plaque 33, côte à côte à gauche et à droite
de la structure de jambe des deux côtés d'un plan
10 sagittal passant par le cardan 57 ; ils sont parallèles
entre eux. Leurs moteurs 1 sont en haut, sous
l'articulation de genou, et leurs vis 3 et biellettes
16 s'étendent vers le bas, jusqu'à deux articulations
35 et 36 dans lesquelles les axes 17 des biellettes sont
15 retenus ; les articulations 35 et 36 se composent de
chapes 37 fixées au pied 30 et de paliers 38 articulés
aux chapes 37 par des pivots 39 dirigés vers l'avant.
Les chapes 37 jouent le même rôle que les trous oblongs
18 et les pivots 39 assurant la même fonction que les
20 pivots 21. Cette structure se prête à deux modes de
fonctionnement préférés : si les actionneurs 31 et 32
sont mus de la même manière, l'avant du pied 30 s'élève
ou s'abaisse ; et s'ils sont mus de quantités
différentes, notamment opposées, ou si un seul est mû,
25 le pied 30 s'incline sur le côté. L'inclinaison est
rendue possible par la rotation des paliers 38 sur les
chapes 37. Une commande facile de l'orientation du pied
30 est ainsi accomplie, et on remarque que même la
30 structure très volumineuse.

Un robot bipède et anthropomorphe est représenté à la figure 5 ; il comprend une charge utile 40, une structure de tronc 41 portant la charge utile 40, une structure de bassin 55 soutenant la structure de tronc 41 par un cardan d'articulation lombaire 42, et deux jambes 43 et 44 soutenant la structure de bassin 55 par des articulations de hanche 45 ; les jambes 43 et 44 comprennent encore des plaques 46 de structure de cuisse qui s'étendent des articulations de hanche 45 aux articulations de genou 34, où elles sont unies aux éléments déjà décrits de la figure 4.

Des actionneurs semblables à ceux qui ont été décrits sont seuls utilisés pour commander les mouvements du robot, ainsi qu'il appert mieux des figures 6 et 7. Comme l'articulation lombaire 42 est double, elle est commandée par deux actionneurs 47 et 48 parallèles et symétriques, à la façon des actionneurs 31 et 32 des articulations de cheville. Leurs moteurs 1 sont fixés à la structure de tronc 41, et leurs vis sans fin 3 et biellettes 16 s'étendent vers le bas, au dos du robot, jusqu'à des extrémités libres de bras 49 d'un levier bifurquant 50 qui est fixé à la structure de bassin 55. Le cardan de l'articulation lombaire 42 s'étend entre le nœud du levier bifurquant 50 et la structure de tronc 41. Si les actionneurs 47 et 48 sont mus de la même façon, les bras 49 resteront à un même niveau et la charge utile 40 basculera entre l'avant et l'arrière ; sinon, elle basculera de côté. Les bras 49 sont articulés aux biellettes 16 et à leurs axes 17 par des dispositifs à

chapes 37 articulées à des paliers 38 semblables à ceux de la figure 4.

La plaque 46 de structure de cuisse porte deux actionneurs 52 et 53 pour commander respectivement
5 les articulations de genou 34 et de hanche 45. Contrairement aux situations précédentes, ils sont dissymétriques et à des niveaux différents, ce qui n'est pas gênant puisqu'ils travaillent indépendamment sur des articulations simples respectives. Leur
10 description est strictement conforme à celle des figures 1 à 3.

Dans toutes ces réalisations, des transmissions 2 de genres différents peuvent être choisies pour coupler les vis sans fin 3 aux arbres de
15 sortie des moteurs 1, mais on aura constaté que des systèmes à courroie crantée tendue entre deux poulies ont en général été adoptés. De telles transmissions permettent de décaler les axes de l'arbre de sortie et de la vis sans fin et offrent une grande latitude pour
20 disposer les parties de l'actionneur. Des renvois d'angle peuvent être introduits, comme on le voit à la figure 6, où les arbres de sortie des moteurs 1 sont orientés vers le haut mais les vis sans fin 3 s'étendent vers le bas, à côté des moteurs 1. Cette
25 disposition réduit l'encombrement longitudinal de l'actionneur et convient aux éléments de structure courts et larges, comme la structure de tronc 41 ; mais comme les jambes sont formées d'éléments plutôt longs et fins, il est en général avantageux que les moteurs 1
30 et les vis sans fin 3 soient en prolongement, comme à la figure 1.

REVENDICATIONS

1. Actionneur d'une articulation entre un premier élément de structure et un second élément de structure, comprenant un moteur fixé au premier
5 élément, une vis (3) que le moteur (1) fait tourner, un écrou (4) engagé sur la vis, caractérisé en ce qu'il comprend un chariot (6, 7) assujetti à l'écrou en direction de la vis, une glissière (11) sensiblement parallèle à la vis, fixée au premier élément et sur
10 laquelle le chariot est monté, une paire de biellettes (16) parallèles, s'étendant symétriquement à la vis et articulées au chariot par une extrémité et à un axe de basculement (17) de l'articulation assujetti au second élément (19) par l'autre extrémité, l'axe de
15 basculement étant sensiblement perpendiculaire à la vis, le chariot étant assujetti à l'écrou avec une liberté de translation perpendiculaire à la vis et l'axe étant assujetti à l'articulation avec une liberté de rotation.

20 2. Actionneur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la glissière (11) est fixée au premier élément par une liaison (14) permettant un réglage de position de la glissière sur le premier élément.

25 3. Actionneur selon la revendication 2, caractérisé en ce que la glissière est plate et portée sur une surface plate (12) du premier élément (13), en ce que la liaison comprend une paire de vis de fixation à tête plate (14) engagées dans des trous taraudés du
30 premier élément à travers des encoches (56) de la glissière (11) dans lesquelles elles jouent, et le

chariot (6, 7) est assujetti à l'écrou avec une liberté simple de translation perpendiculairement à la surface plate.

4. Actionneur selon la revendication 2 ou
5 3, caractérisé en ce que le chariot est relié à la glissière par deux paires de galets (10) de part et d'autre de la glissière.

5. Actionneur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'axe
10 de basculement (17) est assujetti au second élément par un pivot (21) autour duquel ledit axe est articulé.

6. Membre de robot, caractérisé en ce qu'il comprend un actionneur selon l'une quelconque des revendications précédentes entre deux segments
15 articulés entre eux dudit membre, lesdits segments correspondant auxdits éléments de structure.

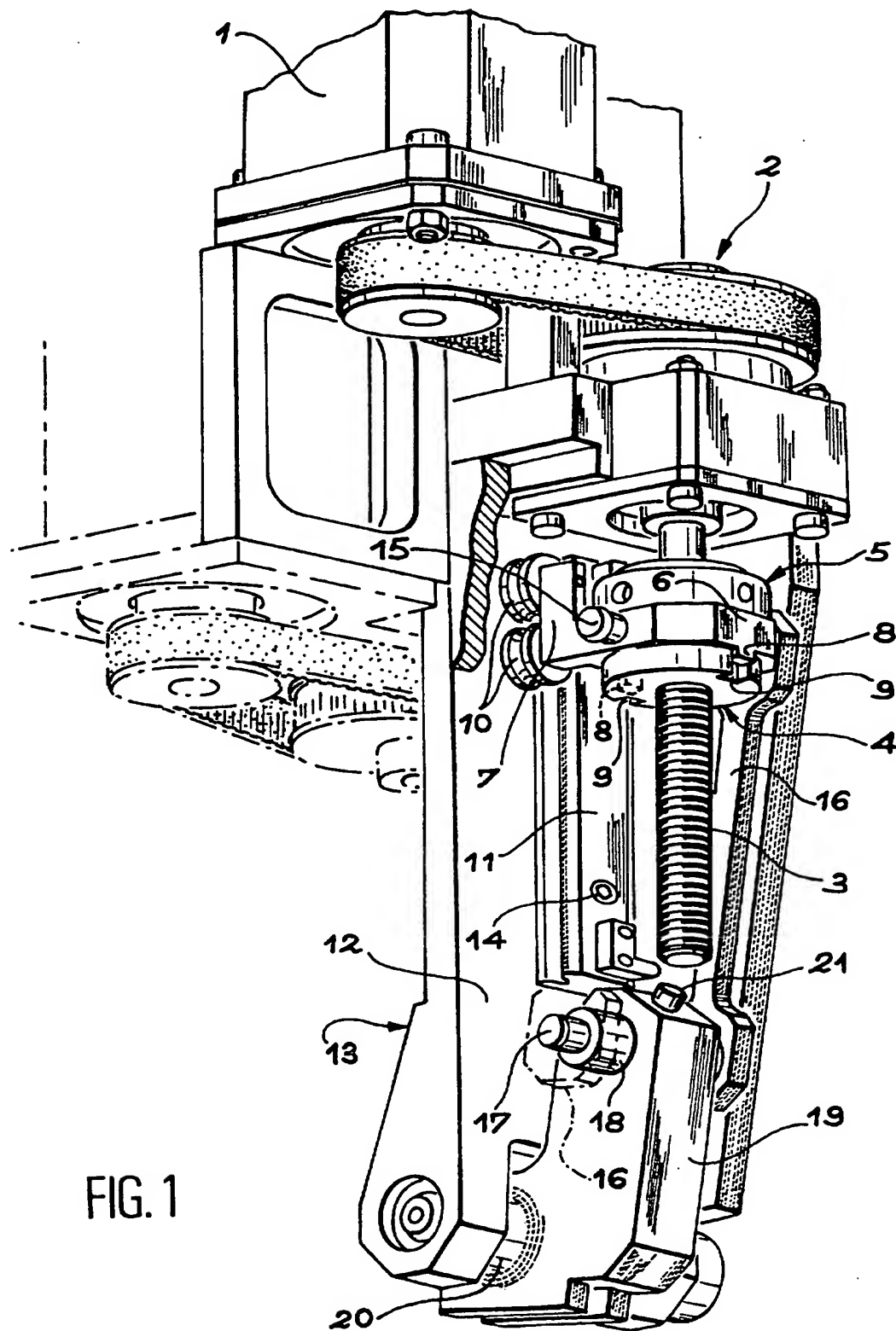
7. Membre de robot, caractérisé en ce qu'il comprend une paire d'actionneurs (31, 32) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 entre deux segments
20 (30, 33) dudit membre reliés par un joint de cardan (57), lesdits segments correspondant auxdits éléments de structure et lesdits actionneurs étant disposés parallèlement et de part et d'autre d'un plan passant par le cardan.

8. Membre de robot comprenant un pied (30),
25 une jambe (33) articulée au pied par un joint de cardan (57), une cuisse (46) articulée à la jambe et à un bassin (55) par des articulations simples (45), caractérisé en ce qu'il comprend une paire
30 d'actionneurs selon la revendication 7 entre la jambe et le pied et deux actionneurs selon l'une quelconque

des revendications 1 à 5 entre la cuisse et la jambe et entre la cuisse et le bassin, lesdits deux actionneurs ayant des moteurs (1) montés sur la cuisse.

9. Robot bipède comprenant un tronc, un
5 bassin et deux membres inférieurs, caractérisé en ce que les membres inférieurs sont conformes à la revendication 8 et en ce qu'une paire d'actionneurs selon la revendication 7 est disposée entre le bassin et un tronc (41), qui sont reliés par un joint de
10 cardan (42).

1/7



2/7

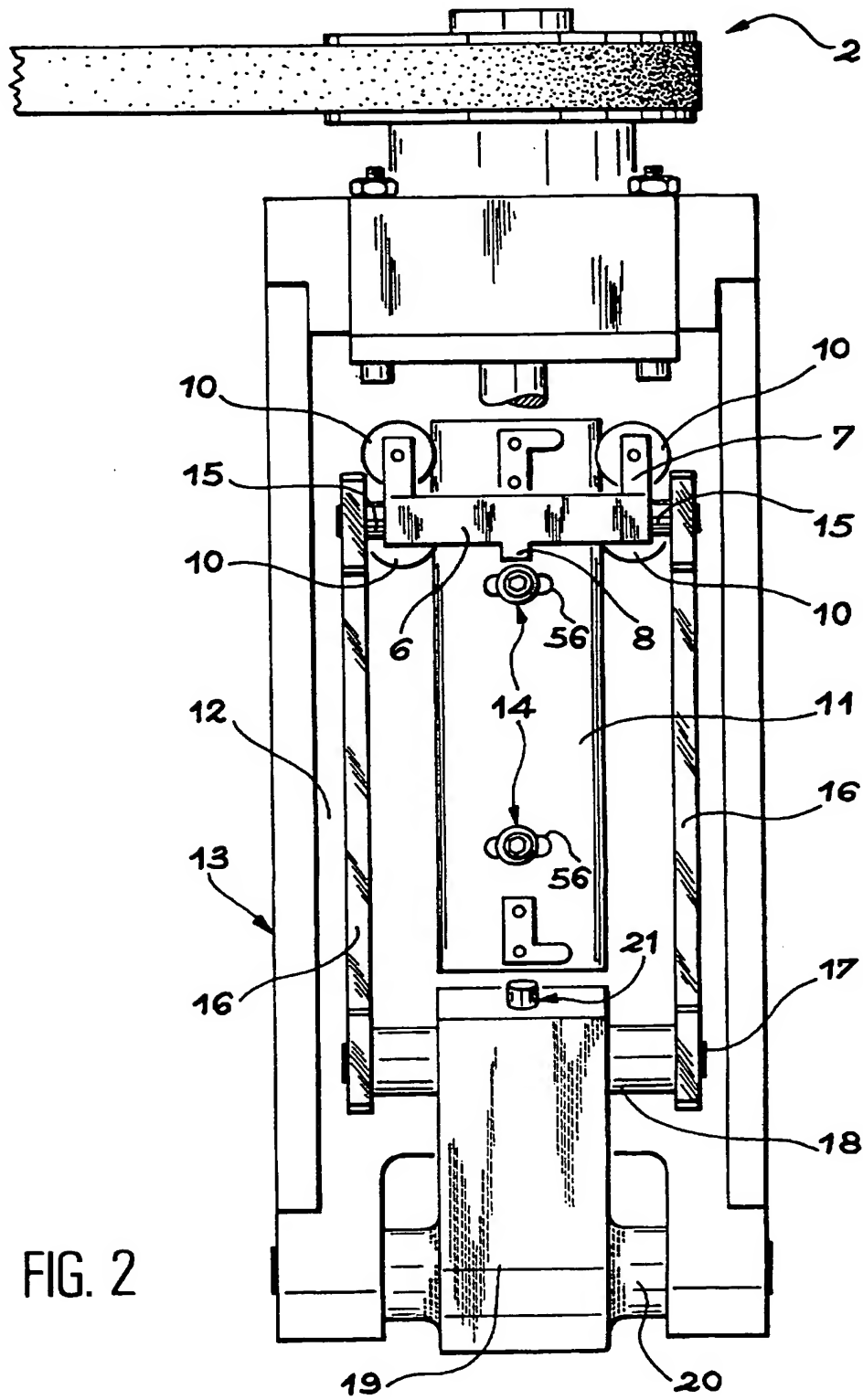
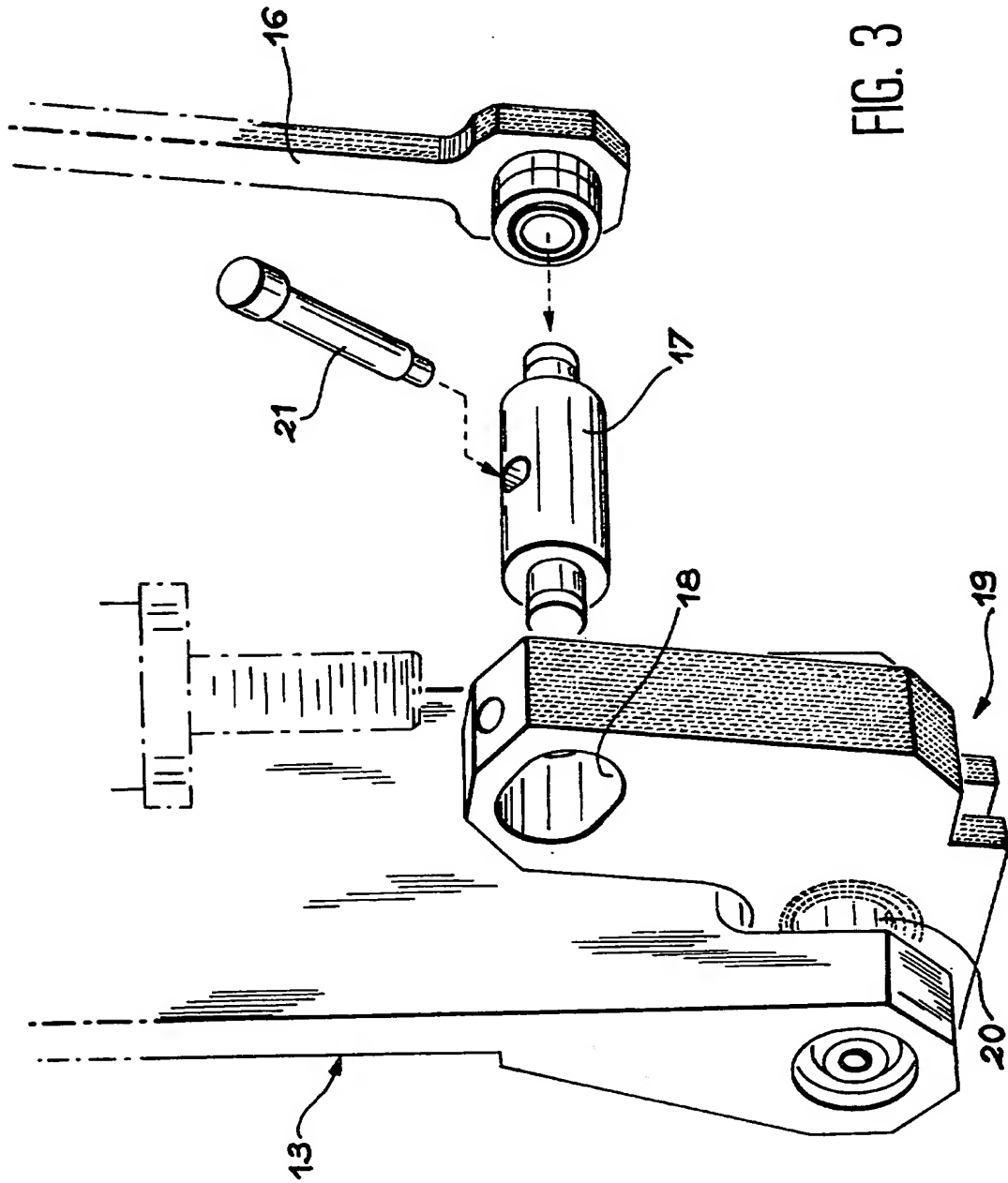


FIG. 2

FIG. 3



4/7

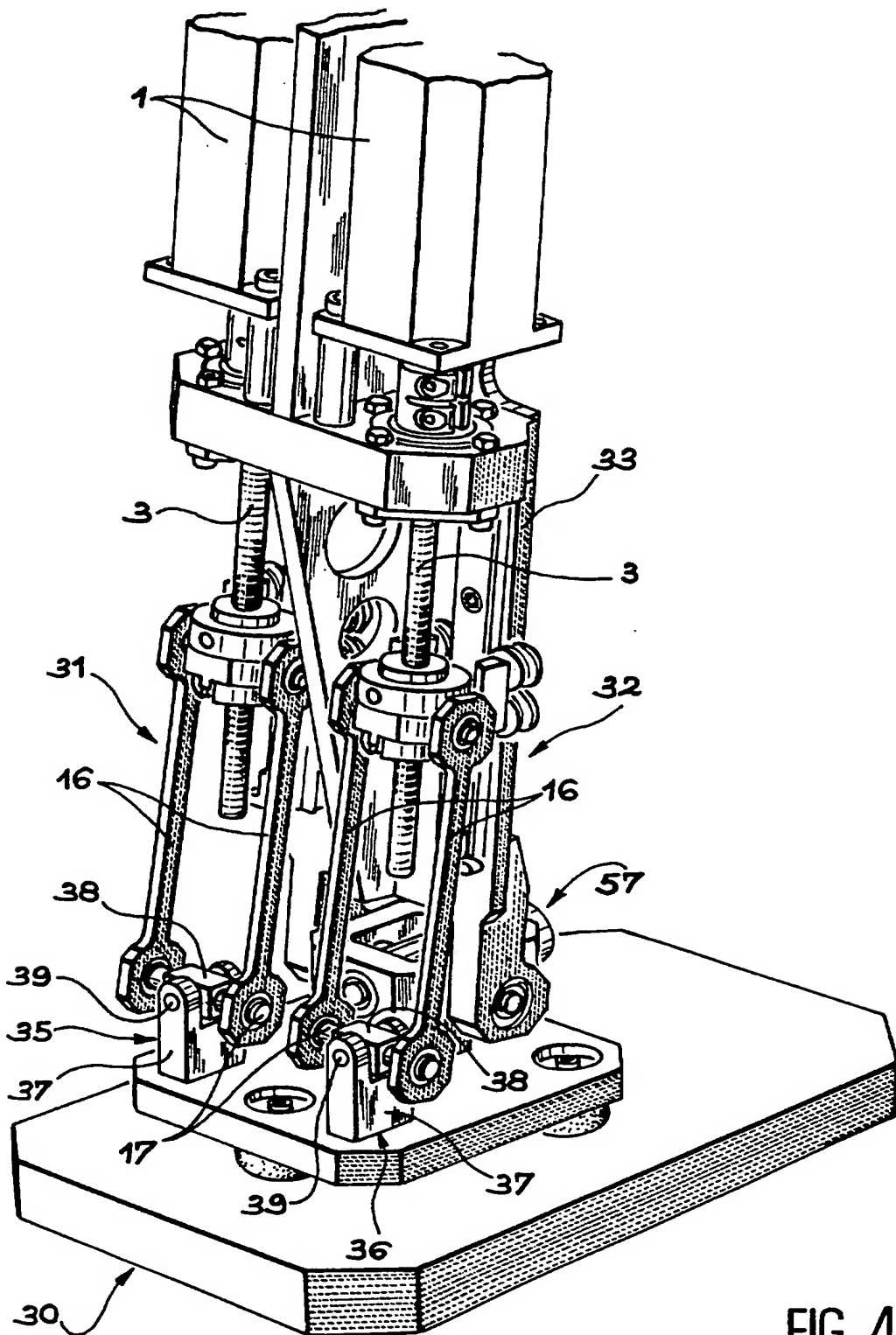


FIG. 4

5/7

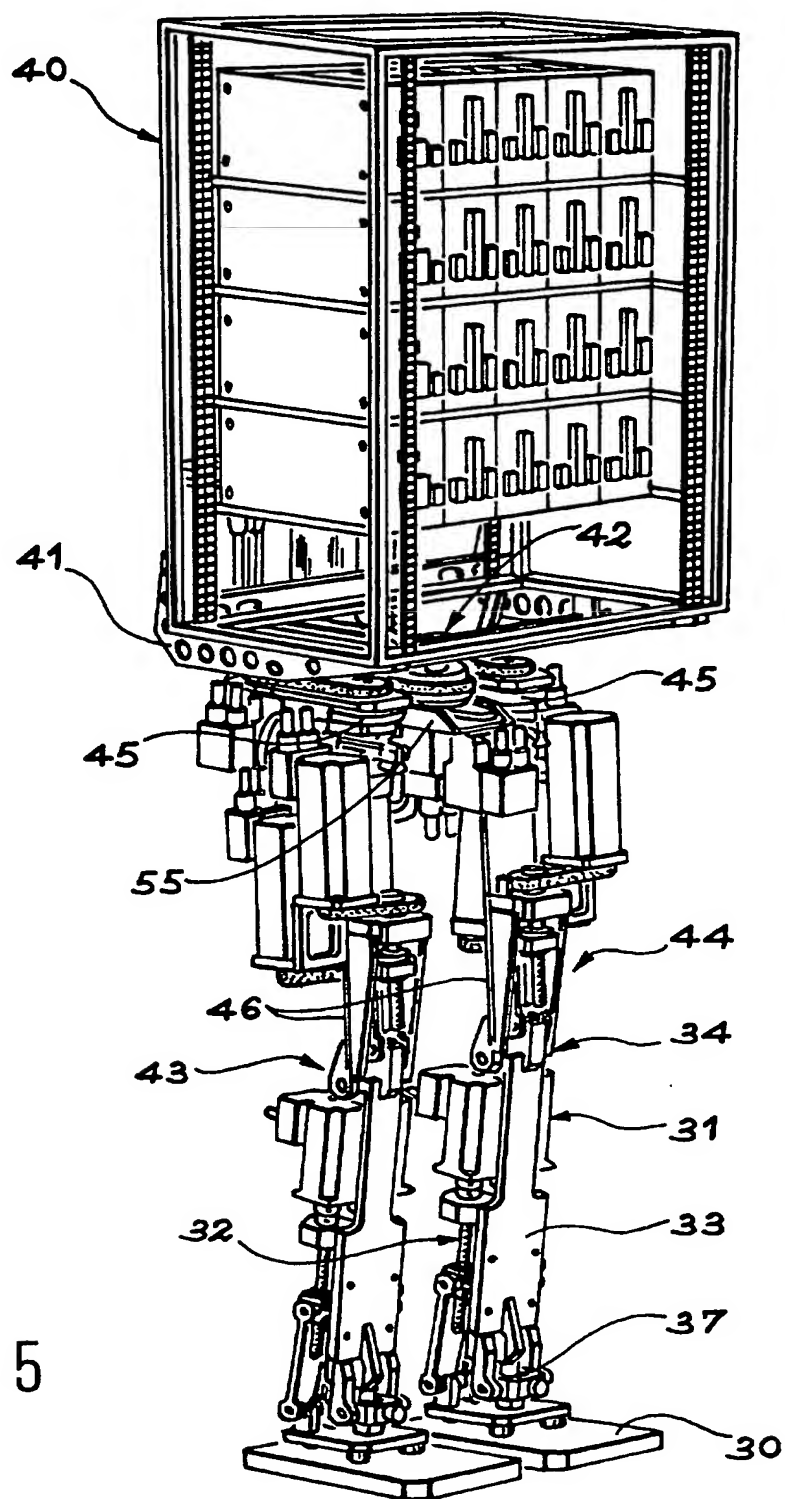
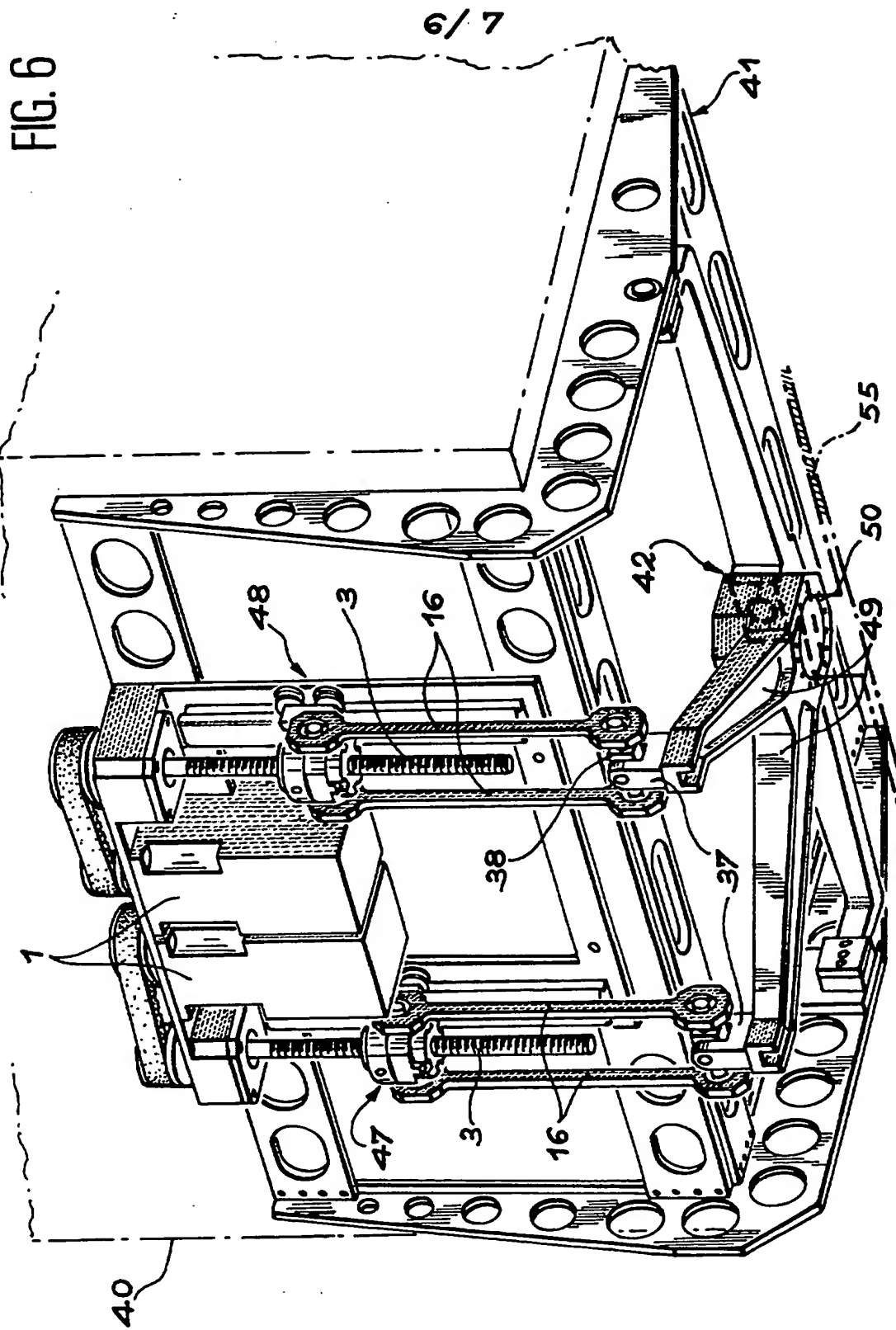


FIG. 5



7/7

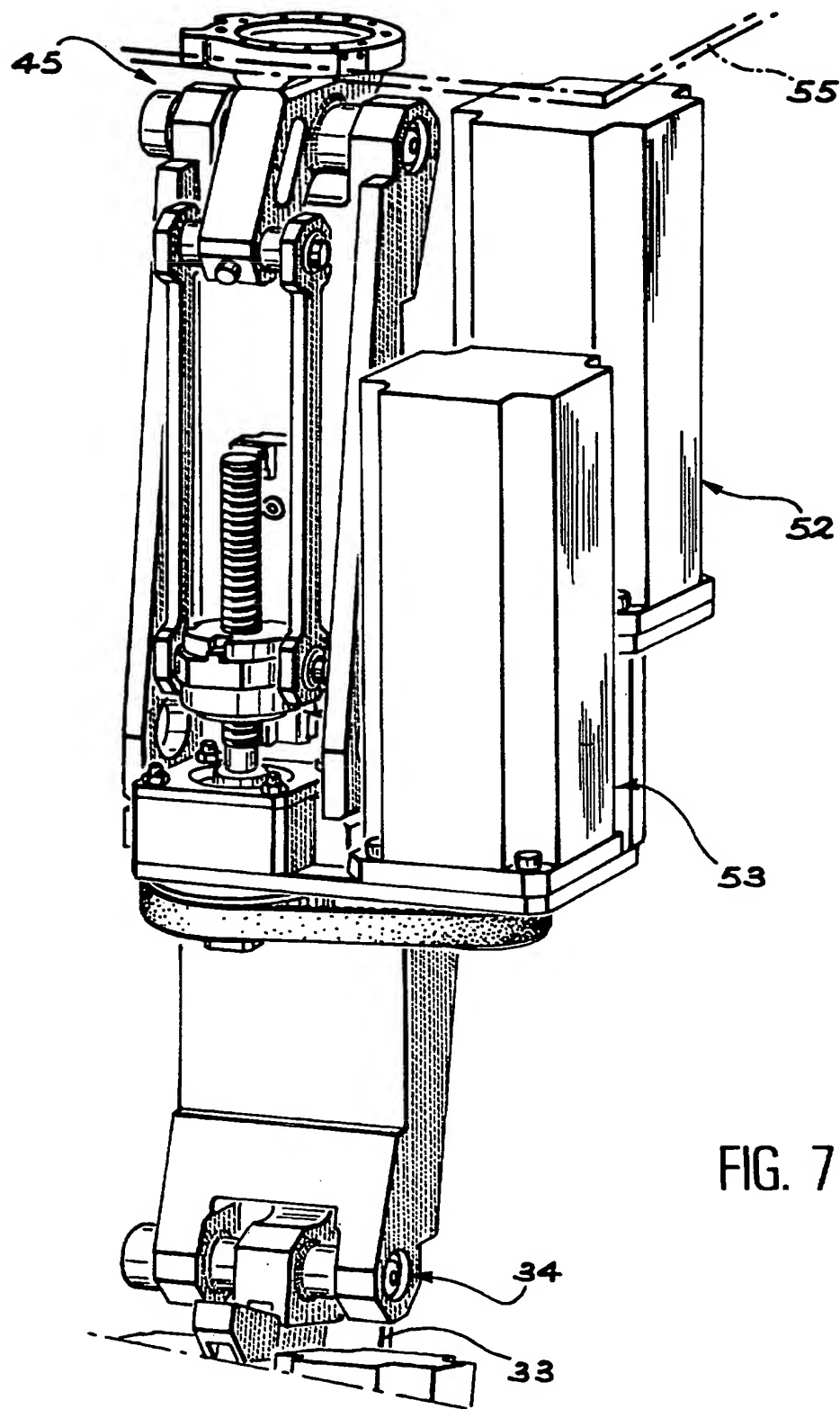


FIG. 7



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2807959

N° d'enregistrement
nationalFA 587033
FR 0005169

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30 novembre 1998 (1998-11-30) & JP 10 217158 A (SONY CORP), 18 août 1998 (1998-08-18) * abrégé; figures 2,3 *	1-9	B25J9/06 B25J9/10 B25J17/02 B62D57/02
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 13, no. 552 (E-849) '3870!, 21 novembre 1989 (1989-11-21) & JP 01 205987 A (AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL), 18 août 1989 (1989-08-18) * abrégé; figure *	1-9	
A	US 4 441 376 A (TOBEY WILLIAM H) 10 avril 1984 (1984-04-10) * abrégé; figures 1,5 *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 435 (M-1655), 15 août 1994 (1994-08-15) & JP 06 134681 A (HIROSE SHIGEO; MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 17 mai 1994 (1994-05-17) * abrégé *	1	
A	EP 0 911 543 A (SMC KK) 28 avril 1999 (1999-04-28) * abrégé; figure 4 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			F16H B62D B25J
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 décembre 2000		Lumineau, S	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			